実験トランジスタ・アンプ設計講座

黒田 徹

●実用技術編

第10章 回路シミュレータSPICE入門(22)

オペアンプOPA 604

前回は，EL 34シングル・パワー・アンプをシミュレーションしました．EL 34のドライブに要する信号電圧は約40 V_{P-P}です．一方，多くのICオペアンプの電源電圧の絶対最大定格は36 V(±18 V)，あるいは44 V(±22 V)ですから，EL 34をICオペアンプでドライブすることは困難です．そこで，前回は真空管オペアンプK 2-Wでドライブしたわけです．

ただしK 2-Wはとっくの昔に製造中止ですから，K 2-W相当回路を自作しなければなりません．当然のことながら，全回路はたいへん複雑になります．

もし高耐圧のICオペアンプがあれば，アンプの製作はとても容易になります．耐圧が100 V以上のICオペアンプは非常に高価ですが，EL 34のドライブ電圧は40 V_{p-p}もあれば十分ですから，50 V程度の耐圧のオペアンプでよいはずです．

実は，格好のオペアンプがあります．旧バーブラウン製で，現在はTI社から発売されているFET入力型オペアンプOPA 604です．

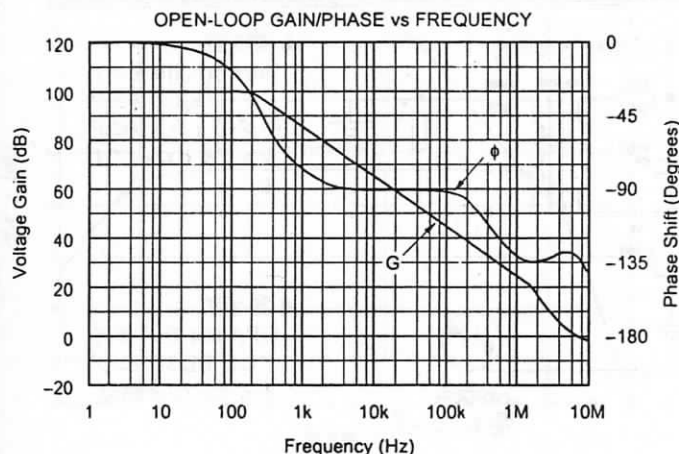
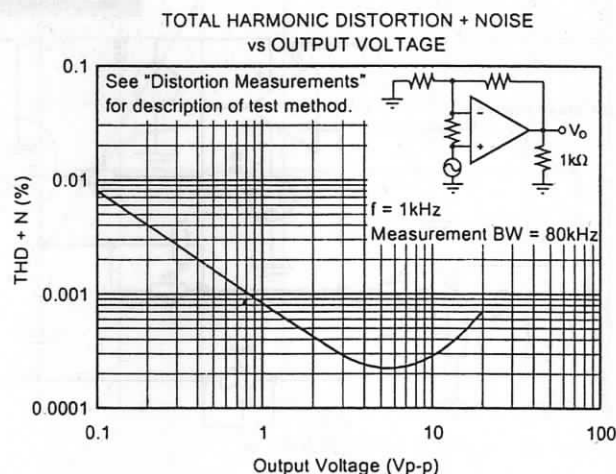
OPA 604の耐圧は規格によると50 Vです．**第1表**にOPA 604の主要電気的特性を示します．データ・シートによれば，OPA 604はきわめて低ひずみ，かつ全帰還で安定です(**第1図**)．半導体パワー・アンプのドライブ段に用い好結果を得た体験から，真空管のドライブにも使えると判断しました．

ICオペアンプ・ドライブのEL 34シングル・アンプ

前号のオペアンプK 2-WをOPA 604に置き換えるという方針で，回路を設計しました．SIMetrixで作成した回路図を**第2図**に示します．回路構成は前号のパワー・アンプと同じです．

ただし，今回はR 3の値を2 kΩ→1 kΩに減らし，クローズド・ループ・ゲインを約6 dB増やしています．つまり，帰還量を減らしています．R 3を2 kΩにすると安定性が低下します．

OPA 604のデバイス・モデルOPA 640 E/BBは，下記のサイト

http://www.orcadpcb.com/pspice/models.asp?bc=F

〈第1図〉OPA 604のオープン・ループ・ゲイン(ボーデ線図)と出力ひずみ率特性(データ・シートより)

	條件	最小	標準	最大	単位
オフセット電圧　入力			±1	±5	mV
平均ドリフト			±8		μV/℃
電源抑圧比	Vs=±5～20 V	80	100		dB
入力バイアス電流	V_{CM}=0 V		50		pA
入力オフセット電流	V_{CM}=0 V		±3		pA
雑音　入力電圧雑音　f=10 Hz			25		mV/$\sqrt{Hz}$
f=1 kHz			11		〃
f=10 kHz			10		〃
電圧雑音(BW=20～20 kHz)			1.5		μVp-p
電流雑音密度(f=0.1 Hz～20 kHz)			4		fA/$\sqrt{Hz}$
コモン・モード抑圧比	V_{CM}=±12 V	80	100		dB
入力インピーダンス　差動			10^{12}/8		Ω/pF
コモン・モード			10^{12}/10		〃
オープン・ループ利得	V_0=±10 V, R_L=1 kΩ	80	100		dB
周波数特性　利得帯域幅	G=100		20		MHz
スルーレイト	$20V_{p-p}$, R_L=1kΩ	15	25		V/μs
出力電圧	R_L=600 Ω, V_0=±12 V	±11	±12		V
出力電流			±35		mA
回路短絡電流			±40		mA
出力抵抗(オープン・ループ)			25		Ω

〈第1表〉TI（旧バーブラウン）OPA 604 オペアンプの主要電気的特性（Vs=±15 V, Ta=25℃）

において公開されているライブラリ・ファイル burr_brn.lib に収められているものです．このライブラリには OPA 604/BB というモデルもありますが，このモデルはオペアンプの入力容量を考慮しないので，AC 解析の信頼度が落ちます．

シミュレーションには，オペアンプの入力容量を考慮した OPA 604 E/BB の使用を推奨します．

ちなみに，604 E の E は，Enhanced model（強化モデル）を意味します．Enhanced model は雑音特性も正確にシミュレーションできます．

Burr_brn. lib の組み込み

SIMetrix で OPA 604 E/BB を使うには，デバイス・モデルを登録しなければなりません．手順を以下に示します．

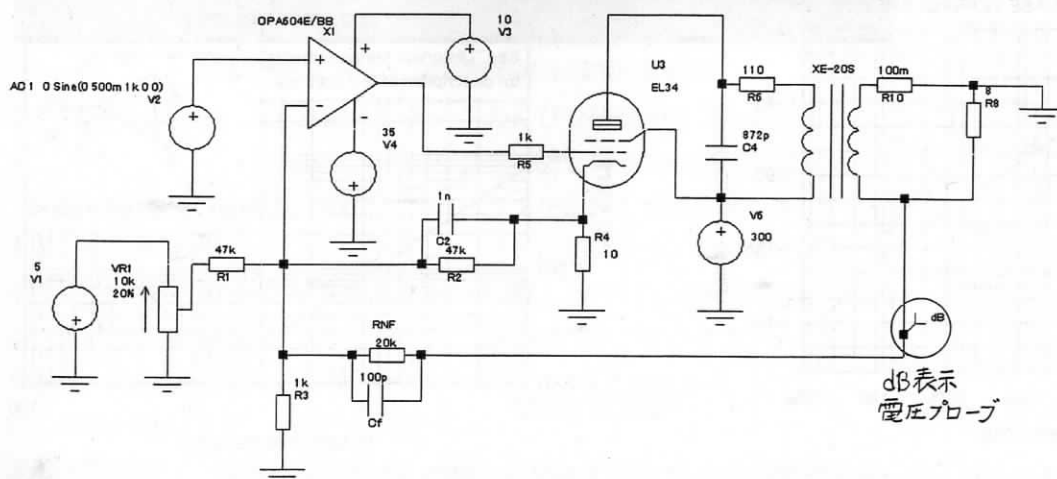
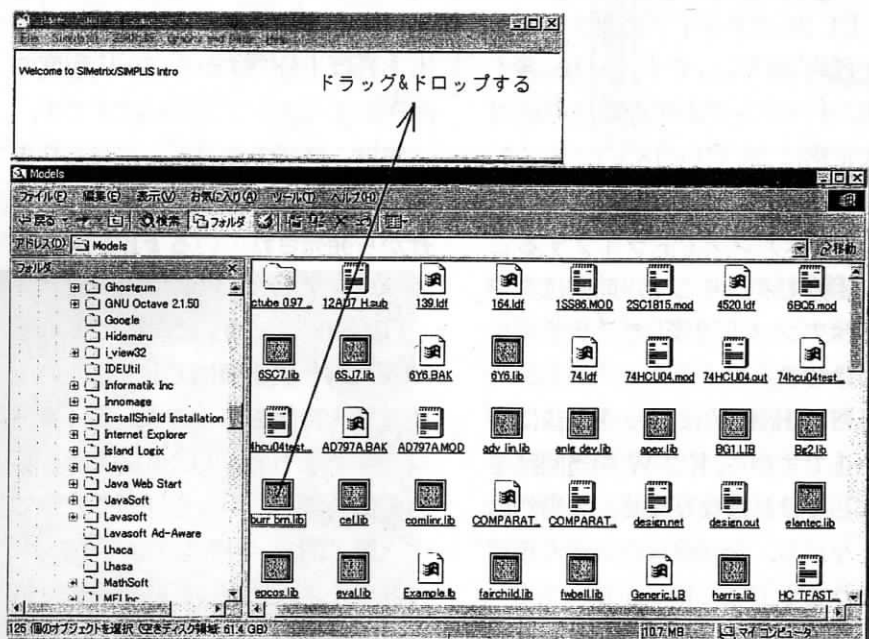
[手順 1]

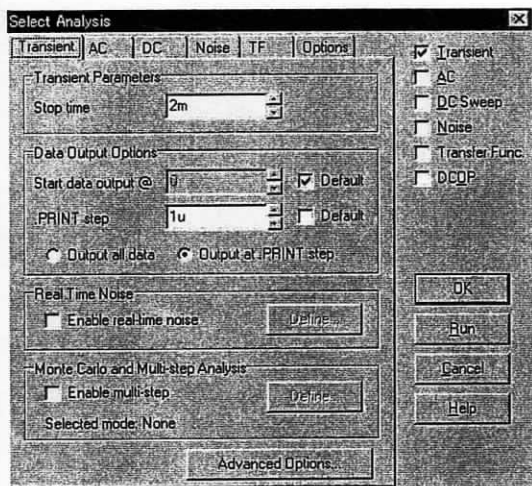
上記の Web サイトからモデル・ライブラリ burr_brn. lib をダウンロードします．そして burr_brn. lib を C:¥Program Files¥SIMetrix Intro42¥Models フォルダにコピーします．

[手順 2]

SIMetrix. exe を起動して，コマンド・シェルを呼び出します．そして Explore を用い，¥SIMetrix Intro42¥Models フォルダのファイル burr_brn. lib をコマンド・シェルのメッセージ・ウィンドウにドラッグ＆ドロップします（**第3図**）．

[手順 3]

コマンド・シェルのメニューから [File]→[Model Library]→[Associate Models and Symbols ……] をクリックします（**第4図**）．

▲〈第3図〉burr-brn. lib をコマンド・シェルのメッセージ・ウィンドウにドラッグ&ドロップする

◀〈第2図〉OPA 604 でドライブした EL 34 シングル・アンプの回路図

〈第12図〉10 kHzのひずみ率をシミュレーションするための過渡解析の設定

▶〈第13図〉入力10 kHzのときの過渡解析の結果

渡解析の設定は第9図のようにしてください．Output all data/Output at .PRINT stepの選択はかならず後者を指定してください．

過渡解析を実行すると，第10図のグラフが得られます．このグラフ・ウィンドウのメニューから[Measure]→[B Plot Fourier of Selected Curve]をクリックしてください．第11図のグラフが得られます．

基本波（1 kHz）：10.6 V

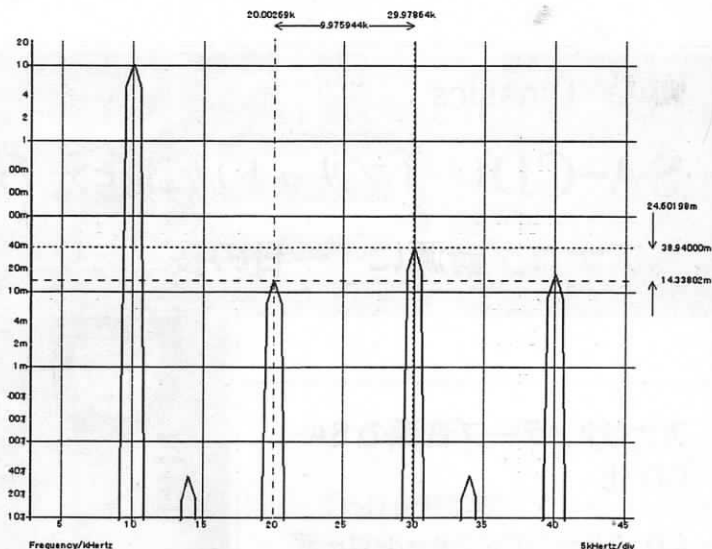
2^{nd}（2 kHz）：1.98 mV

3^{rd}（3 kHz）：4.41 mV

と読み取れます．したがって，

第2調波ひずみ率＝0.019%

第3調波ひずみ率＝0.042%

です．真空管アンプとしては，きわめて低ひずみといえます．

V2の周波数を10 kHzに設定し，過渡解析の設定を第12図のように定めてください．Output all data/Output at .PRINT stepの選択は，ここでもかならず後者を指定します．

過渡解析に続くフーリエ解析結果を第13図に示します．

基本波（10 kHz）：10.6 V

2^{nd}（20 kHz）：14.3 mV

3^{rd}（30 kHz）：38.9 mV

と読み取れます．したがって，

第2調波ひずみ率＝0.13%

第3調波ひずみ率＝0.37%

です．30 kHzにおける帰還量は数dBに過ぎませんが，意外に低ひずみです．

(3) 出力インピーダンス

本パワー・アンプの出力インピーダンスをシミュレーションしましょう．第8図においてV2を除去し，オペアンプの非反転入力端子を接地します．それから，負荷抵抗R8＝8Ω除去し，「AC電流源」（メニューの[Place]→[Sources]→[AC Current Source]から呼び出す）を配置します（第14図）．

AC電流の値は既定の1とします（1Aとしてはいけません．1Aは1 attoアンペアすなわち10^{-18}アンペアと解釈されます）．

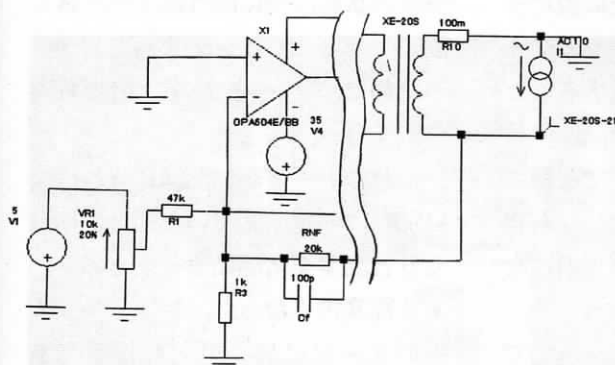
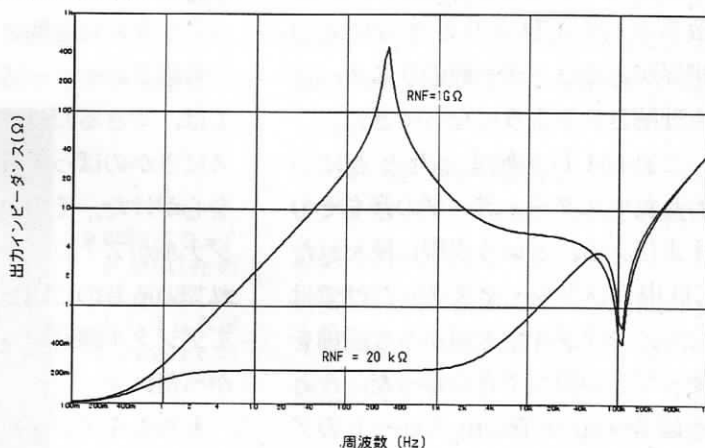
AC解析を設定し実行してください．第15図が得られます．

RNF＝20 kΩの場合の出力インピーダンスは，1 kHzにおいて0.23 Ω，20 kHzにおいて1.5 Ωと読み取れます．

◆参考文献

(1)棚木義則編著「電子回路シミュレータPSpice入門編」pp.154-157，CQ出版㈱，初版2003年11月．

◆引用文献

TI社 OPA 604データ・シート

〈第14図〉出力インピーダンス測定時の回路接続

〈第15図〉EL 34アンプの出力インピーダンス特性